

Perhitungan Kesiapan Jaringan IP dalam Mendukung Aplikasi Konferensi Video Berbasis Desktop Menggunakan Opnet

Alfan Nur Ihsan, Wahyu Suadi dan Henning Titi C

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wahyu@if.its.ac.id

Abstrak—OPNET adalah alat desain jaringan dan simulasi yang populer dalam industri dan akademis. Tugas akhir ini menunjukkan bagaimana OPNET dapat dimanfaatkan untuk menilai kesiapan jaringan IP yang ada untuk mendukung konferensi video berbasis *desktop*. Sampai saat ini, OPNET tidak memiliki fitur *built-in* untuk mendukung konferensi video. Tugas akhir ini memodelkan sebuah perusahaan dengan tiga lantai, dimana setiap lantai terdapat *subnet*. Tugas akhir ini mempertimbangkan dua jenis *traffic* video, yaitu ukuran paket video tetap dan sebenarnya. Dari hasil uji simulasi dapat diketahui jumlah sesi konferensi video yang dapat didukung oleh jaringan IP dengan mempertimbangkan batas *bandwidth* dan *delay*. Skenario kedua mempunyai *traffic* video yang terkirim dalam pps lebih besar 0,0514% dari skenario pertama. Sedangkan untuk *traffic* suara yang terkirim dalam pps pada skenario pertama lebih besar 1,7149% dari skenario kedua. Skenario kedua mempunyai *traffic* video yang terkirim dalam Bps lebih besar 4,9646% dari skenario pertama. Sedangkan untuk *traffic* suara yang terkirim dalam Bps pada skenario pertama lebih besar 0,2547% dari skenario kedua. Sesi konferensi video yang didukung jaringan dengan dibatasi *bandwidth* pada skenario kedua lebih besar 2,439% dari skenario pertama. Sedangkan sesi konferensi video yang didukung jaringan dengan dibatasi *delay* pada skenario kedua lebih besar 4,7619% dari skenario pertama. Dari uji simulasi dengan *generate* panggilan secara bersamaan diketahui bahwa pada jaringan IP dengan skenario pertama dan skenario kedua sama-sama telah siap mendukung 123 sesi konferensi video.

Kata Kunci—OPNET, Jaringan IP, Konferensi Video, Simulasi, Analisa.

I. PENDAHULUAN

Penyebaran konferensi video melalui jaringan IP dalam tahun-tahun ini telah meningkat pesat dalam bidang industri dan akademis. Aplikasi konferensi video berbasis *desktop* digunakan untuk komunikasi internal oleh perusahaan, dan pendidikan. Konferensi video memerlukan pengiriman paket tepat waktu dengan *delay*, *jitter*, dan *packet loss* yang rendah serta *bandwidth* yang memadai. Untuk itu, penyebaran konferensi video yang efisien harus menjamin persyaratan *traffic* secara *real-time* pada jaringan IP.

Dalam beberapa tahun terakhir standar H.323 yang diperkenalkan oleh *International Telecommunication Unions* (ITU) membuka jalan bagi pertumbuhan yang cepat untuk penyebaran konferensi video. Hal ini dikarenakan H.323 merupakan paket protokol lengkap yang dikembangkan untuk

menentukan bagaimana komunikasi *real-time multimedia*, seperti konferensi video, dapat dipertukarkan melalui jaringan *packet-switched*.

OPNET adalah salah satu perangkat lunak permodelan jaringan yang sering digunakan dalam mendesain atau optimasi suatu jaringan. Dalam OPNET terdapat sejumlah besar model elemen jaringan, dan memiliki berbagai kemampuan jaringan yang nyata dalam konfigurasinya. Hal ini membuat simulasi jaringan sesuai dengan kenyataan. Fitur lain dari OPNET termasuk antarmuka GUI, *library* yang lengkap dari protokol jaringan dan model, *source code* untuk semua model, hasil grafis dan statistik.

Tugas akhir ini menunjukkan bagaimana membangun sebuah jaringan IP yang mendukung aplikasi konferensi video menggunakan OPNET. Kemudian akan dicari tahu berapa banyak sesi konferensi yang bisa didukung oleh jaringan tersebut. Semakin banyak sesi konferensi yang didukung, maka jaringan tersebut dianggap semakin siap dalam mendukung aplikasi konferensi video.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Adapun yang menjadi tinjauan pustaka pembuatan tugas akhir ini, antara lain :

A. Assessing Readiness of IP Networks to Support Desktop Videoconferencing Using OPNET

Dalam jurnal *Assessing readiness of IP Networks to Support Desktop Videoconferencing Using OPNET* ditunjukkan bagaimana OPNET dapat digunakan untuk menilai kesiapan jaringan IP dalam mendukung konferensi video berbasis *desktop*. Jurnal ini mempertimbangkan dua jenis *traffic* video, yaitu ukuran paket video tetap dan empiris. Makalah ini juga membahas dan menganalisa hasil simulasi secara mendalam [1].

B. An OPNET-based Simulation Approach for Deploying VoIP

Jurnal *An OPNET-based Simulation approach for Deploying VoIP* memberikan penjelasan mendetail tentang simulasi VoIP menggunakan OPNET. Jurnal ini memberikan perhitungan dan analisa mengenai penyebaran VoIP, jumlah panggilan VoIP yang dapat didukung oleh jaringan dengan memenuhi persyaratan kualitas layanan dari semua layanan jaringan, serta memberikan peluang yang cukup memadai untuk perkembangan yang lebih lanjut. Sebagai bahan

pembelajaran, dalam jurnal ini memodelkan simulasi untuk jaringan perusahaan kecil-menengah. Jurnal ini juga menjelaskan permodelan dan representasi *traffic VoIP* dan *background*, serta berbagai variasi konfigurasi simulasi[2].

C. Analisa Kinerja Transmisi Video pada Wifi Berbasis H.263 Menggunakan OPNET

Buku Analisa Kinerja Transmisi Video pada Wifi Berbasis H.263 Menggunakan OPNET menjelaskan tentang pengaruh pergerakan *client* terhadap *access point* pada waktu mengakses video H.263 yang melewati WLAN IEEE 802.11b. Buku ini menganalisa transmisi video H.263 pada wireless 802.11b dengan software OPNET yang diimplementasikan pada *mobile node* atau *node clients* yang dapat bergerak atau pindah tempat sesuai dengan ketentuan, selama masih dalam jangkauan *wireless* atau masih dalam satu area *wireless*[3].

D. Simulation of Video conferencing in UTM Campus Network by Using OPNET IT Guru Academic Edition

Dalam tesis *Simulation of Video conferencing in UTM Campus Network by Using OPNET IT Guru Academic Edition* OPNET digunakan untuk mensimulasikan aktivitas konferensi video pada jaringan kampus UTM. Dalam tesis ini simulasi dijalankan dalam beberapa skenario, kemudian dicari maksimal total sesi konferensi video yang dapat didukung jaringan. Dari hasil uji coba diketahui bahwa pada saat skenario kasus terburuk, maksimal total sesi konferensi yang dapat didukung adalah tiga sesi untuk tiap *workstation* [4].

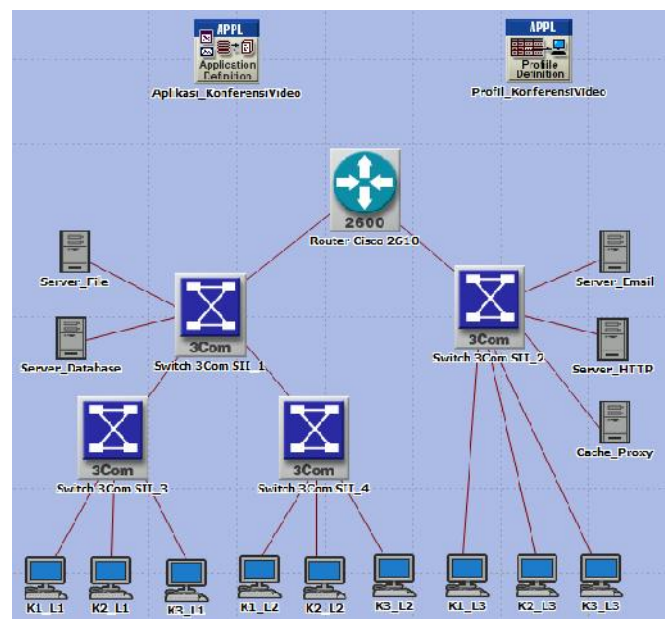
E. Modeling a University Computer Laboratory Using OPNET Software

Jurnal *Modeling a University Computer Laboratory Using OPNET Software* memeriksa penggunaan aplikasi jaringan dan efeknya pada jaringan Universitas Rowan. Jurnal ini memberikan gambaran model simulasi dari lab sarjana jurusan *Computer Science*. Hasil uji simulasi dari OPNET kemudian dibandingkan dengan hasil yang didapat melalui simulasi dengan *live packet trace* yang dikumpulkan dan dianalisa menggunakan Ethereal (sebuah perangkat lunak untuk menganalisa protokol *domain* umum) [5].

III. PERANCANGAN SISTEM

Jaringan IP yang akan dibuat adalah sebuah jaringan sebuah perusahaan kecil-menengah, dengan tiga *subnet floor*. Jaringan berbasis *ethernet* yang terhubung dengan router Cisco 2621, dan switch 3Com SuperStack II 3300. Semua *link duplex ethernet* 100 Mbps.

Gambar. 1 menunjukkan model simulasi untuk jaringan yang ada. Diasumsikan panggilan suara dan video merupakan simetris. Diasumsikan juga konferensi video dilakukan secara *point-to-point*. Lantai LAN dimodelkan sebagai *subnet* yang menyertakan *ethernet switch* dan tiga *ethernet workstation* yang digunakan untuk model kegiatan pengguna LAN. Sebagai contoh, *ethernet workstation* lantai 1 diberi nama K1_L1, K2_L1, dan K3_L1. K1_L1, K1_L2, dan K1_L3 adalah sumber untuk mengirimkan panggilan. K2_L1, K2_L2, dan K2_L3 adalah tempat untuk menerima panggilan. K3_L1, K3_L2, dan K3_L3 adalah sumber *traffic background*.

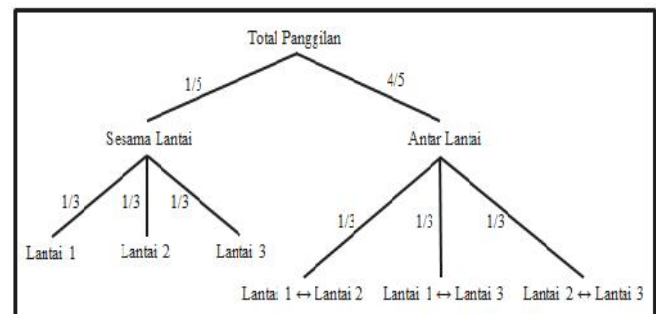


Gambar. 1. Model OPNET dari Jaringan Konferensi Video

Jaringan diasumsikan mempunyai sesi konferensi video yang simetris untuk semua lantai. Adapun distribusi panggilannya adalah sesama lantai mendapatkan 20% dari total panggilan keseluruhan, dan 80% lainnya merupakan panggilan antar lantai. Distribusi panggilan tersebut ditunjukkan pada Gambar. 2.

Adapun permintaan *bandwidth* dan *delay* dalam konferensi video yaitu:

1. *Bandwidth* : Permintaan *bandwidth* untuk suara adalah 160 *byte* untuk tiap paket suara, sedangkan untuk *bandwidth*



Gambar. 2. Diagram Pohon Distribusi Panggilan

video murni adalah 320 kbps [1].

2. *Delay* : Untuk mendapatkan interaksi konferensi video secara alami, batas atas *end-to-end delay* untuk paket video dan suara tidak boleh melebihi 100 ms, dengan 80 ms untuk *delay* jaringan dan 20 ms *delay* untuk *workstation* pengirim dan penerima (*delay* ini dalam simulasi akan diabaikan) [1].

A. Skenario Pertama

Pada perancangan skenario pertama ini simulasi menggunakan ukuran paket tetap. Diasumsikan ukuran *frame* video 1344 *byte* dengan rate 30 fps. Hal ini untuk mendapatkan kecepatan mendekati 320 kbps [1]. Kemudian

akan dicari maksimal total panggilan yang mampu didukung oleh jaringan dengan dibatasi oleh *bandwidth* dan *delay*. Akan dicari juga maksimal total panggilan jika dilakukan panggilan secara bersamaan.

B. Skenario Kedua

Pada skenario kedua akan menggunakan ukuran paket video H.323 sebenarnya, yaitu antara 65-1518 *byte* [1]. OPNET dapat dikonfigurasi dengan cara mengubah nilai ukuran *frame* menjadi distribusi *scripted* yang telah disimpan dalam file “dis.csv”.

IV. IMPLEMENTASI SISTEM

A. Konfigurasi Skenario Pertama

Dalam implementasi skenario pertama ini objek yang perlu dikonfigurasi adalah *Application Config*, *Profile Config*, serta *ethernet_wkstn*.

1) Konfigurasi Aplikasi Video

Type of Service yang dipilih adalah *Interactive Multimedia* untuk memberikan prioritas utama untuk video dalam layanan jaringan.

2) Konfigurasi Aplikasi Suara

Encoder Scheme yang dipilih adalah G.711, karena G.711 merupakan *codec* audio dari H.323. Agar

Attribute	Value
Frame Interarrival Time Information	30 frames/sec
Frame Size Information (bytes)	(...)
Symbolic Destination Name	Tujuan_Video
Type of Service	Interactive Multimedia (5)

Gambar. 3. Konfigurasi Aplikasi Video

didapatkan paket VoIP berukuran 160 *byte*, maka atribut *Voice Frame per Packet* perlu diseting menjadi 2. Atribut *Type of Service* dipilih *Interactive Voice* agar jaringan

Attribute	Value
Incoming Stream Frame Size (bytes)	constant (1344)
Outgoing Stream Frame Size (bytes)	constant (1344)

Gambar. 4. Konfigurasi atribut *Frame Size Information*

lebih memprioritaskan layanan suara.

3) Konfigurasi Profil Konferensi Video

Untuk mengetahui kapasitas jaringan dalam mendukung panggilan suara dan video dapat dilakukan dengan cara menambahkan panggilan-panggilan secara meningkat ke dalam jaringan, kemudian dilihat batas untuk *bandwidth* dan *delay*. Saat batas-batas tersebut tercapai, jumlah

Attribute	Value
Silence Length (seconds)	default
Talk Spurt Length (seconds)	default
Symbolic Destination Name	Tujuan_Suara
Encoder Scheme	G.711
Voice Frames per Packet	2
Type of Service	Interactive Voice (6)

Gambar. 5. Konfigurasi Suara

maksimal panggilan dapat diketahui. Untuk itu perlu

dikonfigurasi sebuah profil yang menambahkan panggilan secara berulang-ulang dengan kecepatan tetap. Dalam profil konferensi video ini dikonfigurasi agar menambahkan panggilan setiap 2 detik. Panggilan di-generate pertama kali pada 70 detik setelah simulasi dijalankan. Hal ini dilakukan agar simulasi berjalan stabil terlebih dahulu.

4) Konfigurasi Workstation

Karena sesi konferensi video berjalan dua arah, maka *workstation* yang ditunjuk untuk mengirim dan menerima panggilan konferensi video, perlu dikofigurasi untuk mendukung profil konferensi video. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menambahkan profil ini ke daftar *supported profile* di *workstation* tersebut.

Attribute	Value
name	Profil_KonferensiVideo
Profile Configuration	(...)
Number of Rows	2
Profile_Video	...
Profile_Suara	...
Profile Name	Profil_Suara
Applications	(...)
Number of Rows	1
Suara	...
Name	Suara
Start Time Offset (seconds)	constant (10)
Duration (seconds)	End of Profile
Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (seconds)	constant (2)
Number of Repetitions	Unlimited
Repetition Pattern	Concurrent
Operation Mode	Serial (Ordered)
Start Time (seconds)	constant (60)

Gambar. 6. Setting Profil Suara dan Video

Hal penting lainnya adalah mengatur *destination reference* untuk *workstation* yang ditunjuk mengirimkan panggilan sehingga distribusi panggilan dapat diimplementasikan. Dalam *destination reference* perlu diisi aplikasi apa saja yang perlu dikirimkan, dalam hal ini yaitu aplikasi video dengan dengan *symbolic name* Tujuan_Video, dan aplikasi suara dengan *symbolic name*

Application: Supported Profiles	(...)
Number of Rows	2
Profile_Video	...
Profile_Suara	...

Gambar. 7. Setting Supported Application Profile

Tujuan_Suara. Dalam *actual name* didefinisikan *workstation* mana saja yang akan menjadi tempat tujuan panggilan serta mengatur berapa *selection weight* (rasio distribusi panggilan) yang diberikan pada *workstation* yang dituju. Sebagai contoh Gambar. 8 menunjukkan daftar *actual name* memetakan *symbolic name* dari suara dan video untuk *workstation* K1_L1 (K1_L1 merupakan *workstation* yang ditunjuk untuk mengirim panggilan di lantai 1).

5) Konfigurasi Profil Konferensi Video(Kedua)

Konfigurasi profil konferensi video yang kedua ini digunakan untuk mengetahui jumlah maksimal total

Application: Destination Preferences	(...)
Number of Rows	2
Video	...
Suara	...
Application	Suara
Symbolic Name	Tujuan_Suara
Actual Name	(...)
Number of Rows	3
Office Network.K2_L1	...
Name	Office Network.K2_L1
Selection Weight	2
Office Network.K2_L2	...
Name	Office Network.K2_L2
Selection Weight	4
Office Network.K2_L3	...
Name	Office Network.K2_L3
Selection Weight	4

Gambar. 8. Pengaturan Destination Preferences

panggilan yang dapat didukung jika semua panggilan dilakukan secara bersama.

Pada Gambar. 9 terlihat bahwa atribut *Number of Repetitions* yang semula *unlimited* diubah menjadi *constant* bernilai 40. Berdasarkan uji coba simulasi

Repeatability	(...)
Inter-repetition Time (second)	constant (0)
Number of Repetitions	constant (40)
Repetition Pattern	Concurrent

Gambar. 9. Repeatability pada VideoVoIP_Profile

diketahui bahwa 123 panggilan yang menunjukkan hasil yang sesuai dengan tidak ada paket yang hilang, serta *end-to-end delay* kurang dari 80 ms. Karena itu perlu meng-generate sebanyak 123 panggilan. Setelah meng-generate 3 panggilan awal, setiap *workstation* akan meng-generate 40 panggilan secara langsung, sehingga total panggilan yang akan di-generate sebanyak $3 + 40 \times 3 = 123$.

B. Konfigurasi Skenario Kedua

Konfigurasi Skenario kedua hampir sama dengan dengan konfigurasi skenario pertama, namun terdapat perbedaan pada konfigurasi aplikasi video. Pada aplikasi video yang diubah adalah atribut *Frame size*, *incoming* dan *outgoing*-nya menjadi distribusi *scripted* yang disimpan dalam file "dis.csv".

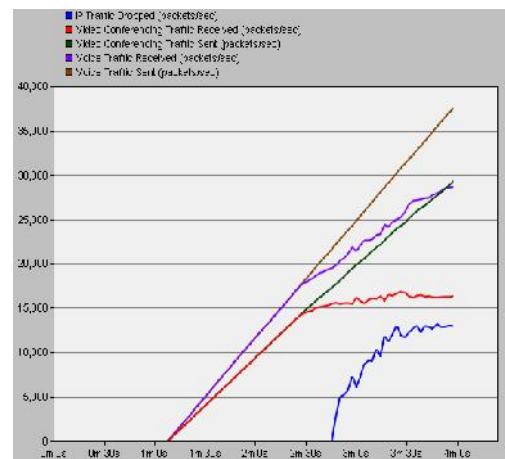
V. UJI COBA DAN EVALUASI

Attribute	Value
Incoming Stream Frame Size (bytes)	scripted (dis)
Outgoing Stream Frame Size (bytes)	scripted (dis)

Gambar. 10. Frame Size Video

A. Skenario Pertama

Dua hal yang menentukan berapa banyak jumlah total panggilan yang dapat didukung oleh jaringan adalah batas *bandwidth* dan *delay* jaringan. Yang akan coba diperiksa pertama kali adalah batas *bandwidth*. Gambar. 11 menunjukkan dengan jelas bahwa tidak semua paket yang



Gambar. 11. Global Traffic Konferensi Video dalam pps pada Skenario Pertama

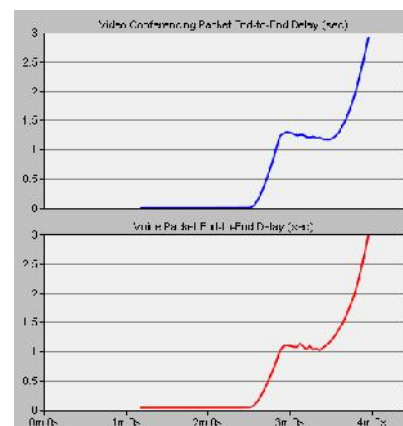
terkirim akan diterima. Ada ketidakcocokan antara *traffic* yang terkirim dengan yang diterima. Dari Gambar. 11 diketahui bahwa tambahan panggilan terakhir yang sukses pada 2 menit 30 detik. Untuk menentukan jumlah total panggilan yang dapat didukung jaringan untuk video dan suara dengan cara menghitung berapa banyak panggilan yang telah ditambahkan sampai penambahan 3 panggilan terakhir yang sukses, yaitu pada 2 menit 30 detik. Sehingga total panggilan konferensi videonya adalah $3 + ((2 \times 60 + 30 - 70) / 2) \times 3 = 123$ (rujuk ke (1)).

$$P = PA + ((M \times 60 + D - AS) \div R) \times PP \quad (1)$$

Keterangan :

- P : Sesi panggilan konferensi video (panggilan)
- PA : Panggilan awal (sebesar 3 panggilan)
- M : Menit (menit)
- D : Detik (detik)
- AS : Awal simulasi (sebesar 70detik)
- R : Pengulangan (sebesar 2 detik)
- PP : Penambahan panggilan (sebesar 3 panggilan)

Delay untuk video dan suara, sebagaimana ditunjukkan Gambar. 12, menunjukkan hasil yang hampir sama karena kedua paket melewati jalur yang sama. Dari Gambar. 12



Gambar. 12. End-to-End Delay Konferensi Video pada Skenario Pertama

diketahui bahwa *delay* berada kurang dari 80 ms sampai pada 2 menit 32 detik, saat dimana *delay* meningkat dengan tajam.

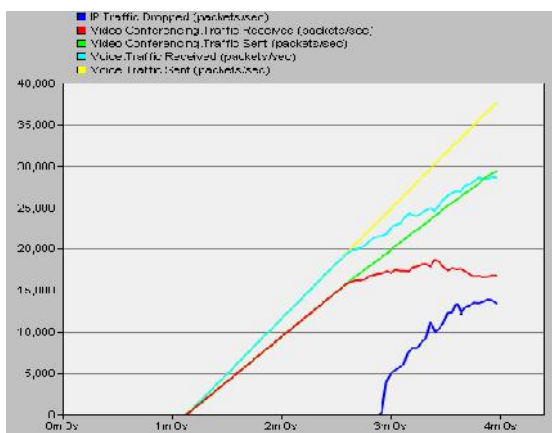
Dari persamaan (1) dapat diketahui jumlah panggilan konferensi video yang dapat didukung jaringan untuk delay kurang dari 80 ms adalah $3 + ((2 \times 60 + 32 - 70) / 2) \times 3 = 126$.

Sebagai pemeriksaan akhir untuk memastikan kesehatan jaringan dan *behavior* normal untuk semua elemen jaringan, perlu diuji simulasi dengan menambahkan 123 panggilan konferensi video secara bersamaan. Setelah simulasi dijalankan selama 4 menit, dari hasil pemeriksaan kesehatan setiap elemen jaringan, jaringan tersebut sukses mendukung 123 panggilan konferensi video, dengan *delay* kurang dari 80 ms, dan tidak ada paket hilang.

B. Skenario Kedua

Pada skenario yang kedua ini, simulasi dijalankan dengan menggunakan ukuran paket video sebenarnya. Gambar. 12 menunjukkan *traffic* IP untuk paket video dan suara. Jika dibandingkan dengan skenario pertama, hasil grafiknya hampir sama, hanya terdapat sedikit perbedaan pada jumlah paket video dan suara yang hilang. Pada skenario kedua ini lebih banyak paket yang hilang, karena ukuran paket video yang dikirim lebih besar dan bervariasi, sehingga ketika paket yang berukuran besar tersebut hilang, banyak paket-paket yang lebih kecil menjadi hilang.

Dengan menggunakan analisa yang sama dengan skenario pertama untuk menentukan batas *bandwidth*, diketahui bahwa 132 sesi konferensi video yang dapat didukung jaringan. *End-*

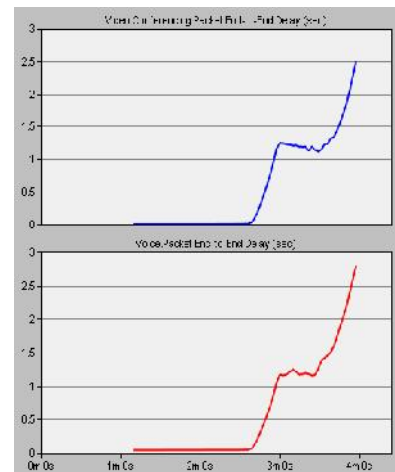


Gambar. 13. *Traffic* Konferensi Video dalam pps pada Skenario Kedua

to-end delay untuk video dan suara ditunjukkan pada Gambar. 13. Dari analisa yang sama dengan skenario pertama diketahui bahwa total sesi konferensi video yang dapat didukung dengan batas *delay* adalah 135.

Saat dilakukan simulasi dengan menggunakan 43 panggilan secara bersamaan, ternyata jaringan tidak dapat mendukung konferensi video dengan stabil, masih terdapat paket hilang dan *delay* lebih dari 80 ms. Namun, setelah diuji dengan melakukan 40 panggilan secara bersamaan, ternyata jaringan telah dapat mendukung konferensi video dengan stabil, dengan tidak ada paket hilang dan *delay* kurang dari 80 ms.

5. Jumlah panggilan konferensi video yang dapat didukung jaringan lebih dibatasi oleh *bandwidth* daripada *delay*



Gambar. 14. *End-to-end Delay* Konferensi Video pada Skenario Kedua

Sehingga pada skenario kedua ini bisa mendukung 123 sesi panggilan video konferensi.

SIMPULAN

Dari beberapa pengujian simulasi yang dilakukan dalam

Tabel. 1. Tabel Hasil Uji Simulasi

Waktu simulasi			Skenario pertama		Skenario kedua	
			Video	Suara	Video	Suara
4 menit	Pps sent		29175	37604	29299	37562
	Byte sent		39208000	5930266	37482532	6010000
	Batas Waktu		2 menit 30 detik		2 menit 36 detik	
	Batas Panggilan		123		132	
	Batas Waktu		2 menit 32 detik		2 menit 38 detik	
	Batas Panggilan		126		135	
Panggilan Bersamaan	Sesi konferensi video yang didukung jaringan		123		123	

pengerjaan tugas akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pada skenario kedua, yang menggunakan ukuran paket video sebenarnya yaitu antara 65-1518 byte, *traffic* video yang terkirim dalam pps lebih besar 0,425% dari skenario pertama yang menggunakan ukuran *frame* paket 1344 byte. Sedangkan untuk *traffic* suara yang terkirim dalam pps pada skenario pertama lebih besar 1,1118% dari skenario kedua.
2. Pada skenario pertama *traffic* video yang terkirim dalam Bps lebih besar 4,6034% dari skenario kedua. Sedangkan untuk *traffic* suara yang terkirim dalam Bps pada skenario kedua lebih besar 1,3445% dari skenario pertama.
3. Sesi konferensi video yang didukung jaringan dengan dibatasi *bandwidth* pada skenario kedua lebih besar 7,3171% dari skenario pertama. Sedangkan sesi konferensi video yang didukung jaringan dengan dibatasi *delay* pada skenario kedua lebih besar 7,1428% dari skenario pertama.
4. Dari uji simulasi dengan meng-generate panggilan secara bersamaan diketahui bahwa pada jaringan IP dengan skenario pertama dan skenario kedua sama-sama telah siap mendukung 123 sesi konferensi video.
6. Dari uji coba skenario pertama diketahui bahwa penyebab utama terjadinya *packet loss* adalah adanya aliran berlebih dalam *memory buffer router*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak dan Ibu yang selalu memberikan do'a restu, Bapak Wahyu Suadi, S.Kom, MM, M.Kom. dan Ibu Henning Titi Ciptaningtyas, S.Kom., M.Kom. atas bimbingan yang diberikan selama penyusunan Tugas Akhir, serta K. Salah, P. Calyam, dan M.I. Buhari, penulis jurnal *Assessing Readiness of IP Networks to Support Desktop Videoconferencing using OPNET*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Salah, P. Calyam, and Buhari M. I, "Assessing Readiness of IP Networks to Support Desktop Videoconferencing Using OPNET," *ScienceDirect*, (2006).
- [2] K. Salah, A. Alksoiraidly, "An OPNET-based Simulation Approach for Deploying VoIP," *InterScience*, (2006).
- [3] R. S. Munir, Analisa Kinerja Transmisi Video pada Wifi Berbasis H.263 Menggunakan OPNET, 1st penyunt., Surabaya: Jurusan Teknik Informatika FTIF-ITS, (2011).
- [4] Sulaiman, S. B., Simulation of Video Conferencing in UTM Campus Network by Using OPNET IT Guru Academic Edition. *Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia*, (2009).
- [5] Vasil Hnatyshin, Andrea F. Lobo, Pavel Bashkirtsev, Robert DeDomenico, Andrew Fabian, Gregg Gramatges, James Metting, Mike Simmons, Matt Stiefel, Modeling a University Computer Laboratory using OPNET Software. *Computer Science Department of Rowan University*, (2005).